

经皮弯角椎体成形术后骨水泥分布特征的三维定量研究

任亦龙¹, 曾至立¹, 谢 宁¹, 麻 彬¹, 朱 睿², 程黎明^{1,2}

1. 同济大学附属同济医院脊柱外科, 上海 200065

2. 同济大学脊柱脊髓损伤再生修复教育部重点实验室, 上海 200065

[摘 要] 目的 定量观测经皮弯角椎体成形术(percutaneous curved vertebroplasty, PCVP)后骨水泥分布特征。方法 测量并比较PCVP术后正位平片上骨水泥在椎体两侧的分布面积;建立术后椎体及骨水泥的三维模型,以椎体正中矢状面及轴面分割骨水泥模型,分别计算穿刺侧及对侧,上方及下方的骨水泥体积及占比,并进行统计学分析。结果 穿刺侧骨水泥面积 $2.19 \sim 6.08 \text{ cm}^2$,平均 $(3.87 \pm 1.00) \text{ cm}^2$;对侧骨水泥面积 $1.71 \sim 6.21 \text{ cm}^2$,平均 $(3.18 \pm 1.18) \text{ cm}^2$,两侧差异有统计学意义($P < 0.05$)。穿刺侧骨水泥体积平均 $(4\,821.7 \pm 1\,151.8) \text{ mm}^3$,占骨水泥总体积 $(62.2 \pm 10.4) \%$,占椎体体积 $(16.9 \pm 3.1) \%$;对侧骨水泥体积平均 $(2\,982.5 \pm 1\,207.9) \text{ mm}^3$,占骨水泥总体积 $(37.8 \pm 10.4) \%$,占椎体体积 $(10.8 \pm 4.2) \%$,两侧相比均有统计学意义($P < 0.05$)。上方骨水泥体积平均 $(4\,242.9 \pm 1\,165.8) \text{ mm}^3$,占骨水泥总体积 $(55.2 \pm 15.1) \%$,占椎体体积 $(14.9 \pm 3.5) \%$;下方骨水泥体积平均 $(3\,574.3 \pm 1\,539.7) \text{ mm}^3$,占骨水泥总体积 $(44.8 \pm 15.1) \%$,占椎体总体积 $(12.9 \pm 5.6) \%$,上下方相比,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。结论 本研究定量观测并描述了PCVP术后骨水泥分布特征,并可为生物力学建模提供量化的临床数据。

[关键词] 椎体压缩性骨折;经皮弯角椎体成形术;经皮椎体成形术;三维定量分析;骨水泥分布

[中图分类号] R683.2 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2095-378X(2020)02-0073-05

doi: 10.3969/j.issn.2095-378X.2020.02.001

Three-dimensional quantitative study of bone cement distribution characteristics after percutaneous curved vertebroplasty

REN Yilong¹, ZENG Zhili¹, XIE Ning¹, MA Bin¹, ZHU Rui², CHENG Liming^{1,2}

1. Division of Spine Surgery, Department of Orthopaedics, Tongji Hospital Affiliated to Tongji University, Shanghai 200065, China

2. Key Laboratory of Spine and Spinal Cord Injury Repair and Regeneration of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200065, China

[Abstract] **Objective** To quantitatively observe the bone cement distribution characteristics after percutaneous curved vertebroplasty (PCVP). **Methods** The distribution areas of cement in the ipsilateral and contralateral sides in anterior-posterior X-ray were calculated and compared. Three-dimensional models of vertebral body and bone cement were established. The bone cement was segmented into ipsilateral/contralateral part by sagittal plane, and upward/downward part by axial plane. Cement volume and volume ratio of each part were calculated, and statistical analysis was performed. **Results** The cement distribution areas in the ipsilateral side and the contralateral side were $2.19 \sim 6.08 \text{ cm}^2$ [$(3.87 \pm 1.00) \text{ cm}^2$] and $1.71 \sim 6.21 \text{ cm}^2$ [$(3.18 \pm 1.18) \text{ cm}^2$], with a statistical significant difference ($P < 0.05$). In the ipsilateral part, the mean cement volume, volume ratio to the whole cement, and volume ratio to the whole vertebral body were $(4\,821.7 \pm 1\,151.8) \text{ mm}^3$, $(62.2 \pm 10.4) \%$, and $(16.9 \pm 3.1) \%$, respectively. Same parameters in the

[基金项目] 上海市重中之重重点学科建设项目(骨外科学, 2017ZZ02004)

[作者简介] 任亦龙(1984—),男,博士,主治医师,从事脊柱外科

[通信作者] 程黎明,电子邮箱: limingcheng@tongji.edu.cn

contralateral part were ($2\,982.5 \pm 1\,207.9$) mm³, (37.8 ± 10.4) %, and (10.8 ± 4.2) %, respectively; differences in the parameters between the two parts were statistically significant ($P < 0.05$). These parameters in the upward part were ($4\,242.9 \pm 1\,165.8$) mm³, (55.2 ± 15.1) %, and (14.9 ± 3.5) %, respectively, compared to the downward part as ($3\,574.3 \pm 1\,539.7$) mm³, (44.8 ± 15.1) %, and (12.9 ± 5.6) %, respectively, with no statistical significance ($P > 0.05$). **Conclusion** Through quantitatively observing and describing the characteristics of cement distribution after PCVP, the study provides quantitative data for biomechanical modeling.

[Key words] Vertebral compression fracture; Percutaneous curved vertebroplasty; Percutaneous vertebroplasty; Three-dimensional quantitative study; Bone cement distribution

经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)目前已广泛应用于保守治疗无效的骨质疏松性椎体压缩性骨折患者的治疗^[1]。与双侧椎弓根穿刺的PVP手术相比,单侧椎弓根穿刺PVP手术减小了手术创伤,减少了术中透视次数,缩短了手术时间^[2]。但是,单侧椎弓根穿刺PVP手术往往骨水泥不能越过中线^[3-5],而不均衡的骨水泥分布可能导致术后椎体生物力学性能欠佳,易出现术后疼痛无法缓解、手术节段再塌陷等问题^[6-7]。如采用椎弓根外穿刺路径加大内倾,则穿破椎弓根内壁,损伤神经的风险增大^[8]。

近年来,同济大学附属同济医院开展了采用弯角椎体成形装置的经皮椎体成形术(percutaneous curved vertebroplasty, PCVP)。该装置不仅具有单侧穿刺椎体成形术的优势:缩短手术时间,减小手术创伤^[2],且其聚醚醚酮的骨水泥输送导管和记忆合金内芯相结合,仅行单侧椎弓根穿刺,就能够在椎体的穿刺侧、椎体中央及对侧进行多点骨水泥注射,改善骨水泥分布,实现双侧穿刺的手术效果^[5,9]。但骨水泥实际分布情况并无相关定量观测研究。本文通过二维面积测量及三维建模量化分析的方法观测PCVP术后椎体中骨水泥的分布特点。并可为生物力学建模提供临床数据。

1 材料和方法

1.1 一般资料

2019年4月—2019年10月在同济大学附属同济医院行PCVP手术的患者共计21例22椎。其中男性3例,女性18例,年龄51~86岁,平均(68.6 ± 9.6)岁,所有患者均符合如下纳入标准。(1)年龄>50岁;(2)有明确的腰背痛,查体可及活动受限,局部压痛及叩痛;(3)骨密度检查明确存在骨质疏松(T 值 ≤ -2.5);(4)X线片检查明确存在椎体压缩改变,CT明确椎体后缘无游离骨折块,无椎弓根及椎板损伤,MRI明确为新鲜单节段骨折,即T1像低信号,T2像及T2脂抑像高信号,不伴有后方韧带复合

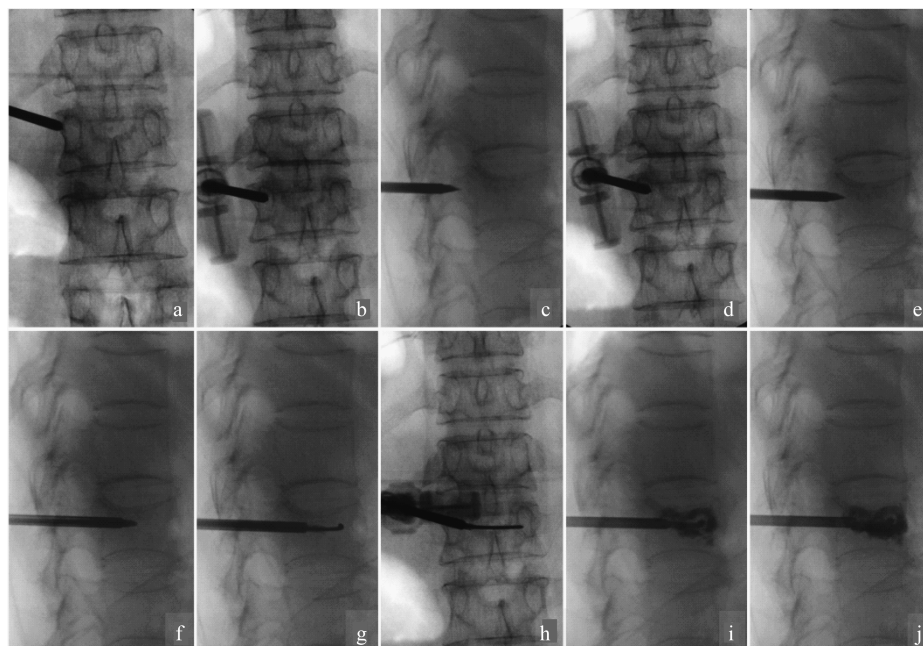
体损伤。排除标准:(1)严重的心肺功能异常;(2)凝血功能障碍;(3)椎体后缘骨折块侵入椎管;(4)椎弓根骨折、后结构损伤;(5)陈旧性骨折、骨不连;(6)脊髓、神经根损伤。根据《骨质疏松性椎体压缩性骨折的诊疗指南》^[10],楔形骨折12例13椎,双凹状骨折3例3椎,压缩性骨折6例6椎。

1.2 手术方法

术前准备时根据标准正位平片和CT片判断椎弓根大小及有无发育异常,以较大的椎弓根为穿刺侧。如椎弓根大小一致则在术中选择C臂机的对侧作为穿刺侧以避免机器对操作的影响。患者均采用静脉麻醉复合局麻。麻醉成功后,患者取俯卧位,适度按压复位。定位责任节段椎弓根后,以椎弓根的10点或2点作为进针点,采用经椎弓根入路行单侧椎弓根穿刺(图1a)。缓慢进针,当正位透视下穿刺针尖达到椎弓根中心时,侧位透视确认穿刺针尖达到椎弓根前后径的中点(图1b, c)。当正位透视下穿刺针尖达到椎弓根内侧壁时,侧位透视确认穿刺针尖达到椎体后缘(图1d, e)。当侧位透视下穿刺针尖达到椎体中后1/3时(图1f),取出穿刺针内芯,置入骨水泥输送导管。正位透视下确认输送导管尖端达到穿刺对侧椎弓根影处,侧位透下确认输送导管尖端达到椎体中前1/3处(图1g, h),抽出输送导管内芯,准备骨水泥(OSTEOPAL®V, Heraeus Medical GmbH, Wehrheim, Germany),待骨水泥至拉丝期开始注射。首先在椎体对侧进行骨水泥注射,随后向外抽出输送导管至第一条刻度线(椎体中央)再次注射,最后向外抽出输送导管至第二条刻度线(穿刺侧)注射(图1i, j)。注射过程中骨水泥填充满意,接近椎体后缘时终止手术。如出现向椎管的渗漏则即刻停止手术。

1.3 骨水泥分布面积及体积数据测量

术后对手术节段进行常规X线片复查。在PACS系统内分别测量标准正位平片上椎体内穿刺侧和对侧的骨水泥分布面积。对手术节段行64排CT薄层扫描(层厚 < 1.5 mm),数据以DICOM格式经



a: 穿刺进针点位; b-e: 经椎弓根入路穿刺过程; f: 穿刺针针尖达到椎体中后 1/3; g, h: 骨水泥输送导管置入后, 正位透视见输送导管尖端达对侧椎弓根内缘, 侧位透视见尖端达椎体中前 1/3; i, j: 分别在椎体内不同位置注射骨水泥。

图1 PCVP手术过程

a: entry point of cannula tip; b-e: procedure of cannula puncture of PCVP; f: cannula tip at 1/3 of posterior vertebral body; g, h: anteroposterior and lateral fluoroscopy image showing the tip of cement injector at contralateral pedicle, and 1/3 of anterior vertebral body; i, j: cement injection at different sites.

Fig.1 Surgical procedure of percutaneous curved vertebroplasty

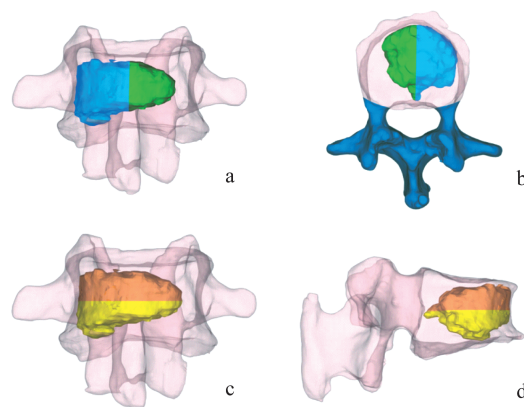
PACS系统导出后, 导入E-3D软件(中南大学, 湖南长沙)。经阈值分割及手工逐层修正等图像操作建立椎体及骨水泥三维模型。以顶视图手工分割椎体及椎弓根。以前视图内椎体正中矢状面分割骨水泥模型, 分别测量穿刺侧及对侧骨水泥体积, 计算两侧骨水泥体积占骨水泥总体积及占椎体总体积的百分比(图2a, b)。以侧视图内椎体正中轴面分割骨水泥模型, 分别测量上下方骨水泥体积, 计算上下方骨水泥体积占骨水泥总体积及椎体总体积的百分比(图2c, d)。

1.4 统计学分析

所有数据均采用R 3.6统计学软件进行分析处理。连续变量用均数±标准差表示, 统计学分析采用配对 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

所有手术均顺利完成, 术中未更改手术方案。术后未见水泥不良反应、椎管内骨水泥渗漏、椎管内血肿、神经损伤。术后三维椎体及骨水泥模型确定PCVP术可实现骨水泥在椎体双侧及中央连续分布。骨水泥注入量4.5~7.0 mL, 平均(5.8±0.6) mL。穿刺侧骨水泥面积2.19~6.08 cm², 平均(3.87±1.00) cm²; 对侧骨水泥面积1.71~6.21 cm², 平均(3.18±1.18) cm²,



a, b 矢状面分割的椎体及骨水泥3D模型; c, d 轴面分割的椎体及骨水泥3D模型。

图2 3D模型分割示意图

a, b 3D model of vertebral body and bone cement segmented by sagittal plane; c, d 3D model of vertebral body and bone cement segmented by axial plane.

Fig.2 Schematic diagram of segmentation of 3D model

两侧差异有统计学意义($t=3.44, P<0.05$)。穿刺侧骨水泥体积3 127.1~7 122.5 mm³, 平均(4 821.7±1 151.8) mm³; 对侧骨水泥体积698.3~6 671.3 mm³, 平均(2 982.5±1 207.9) mm³, 两侧差异有统计学意义。穿刺侧骨水泥体积占骨水泥总体积百分比47.5%~90.6%, 平均(62.2±10.4)%, 对侧9.3%~

52.5%, 平均 $(37.8 \pm 10.4)\%$, 两侧差异有统计学意义。穿刺侧骨水泥体积占椎体总体积百分比 $11.3\% \sim 22.1\%$, 平均 $(16.9 \pm 3.1)\%$; 对侧 $1.2\% \sim 20.1\%$, 平均 $(10.8 \pm 4.2)\%$, 两侧差异有统计学意义, 见表1。

表1 术后椎体正中矢状面分割后穿刺侧与对侧骨水泥体积及占比的比较

Tab.1 Comparison of bone cement volume and volume ratio between ipsilateral part and contralateral part segmented by sagittal plane after surgery

组别	骨水泥 体积/ mm^3	占骨水泥总体 积比/ $\%$	占椎体总体 积比/ $\%$
穿刺侧	4 821.69 $\pm$ 1 151.78	62.24 $\pm$ 10.44	16.92 $\pm$ 3.13
对侧	2 982.50 $\pm$ 1 207.86	37.76 $\pm$ 10.44	10.82 $\pm$ 4.16
<i>t</i> 值	5.52	6.5	6.52
<i>P</i> 值	<0.05	<0.05	<0.05

上半椎体骨水泥体积 $1\,724.1 \sim 6\,280.5\text{ mm}^3$, 平均 $(4\,242.9 \pm 1\,165.8)\text{ mm}^3$; 下半椎体骨水泥体积 $1\,084.4 \sim 6\,611.2\text{ mm}^3$, 平均 $(3\,574.3 \pm 1\,539.7)\text{ mm}^3$, 差异无统计学意义。上半椎体骨水泥体积占骨水泥总体积百分比 $30.8\% \sim 83.0\%$, 平均 $(55.2 \pm 15.1)\%$; 下半椎体 $17.0\% \sim 69.2\%$, 平均 $(44.8 \pm 15.1)\%$, 差异无统计学意义。上半椎体骨水泥体积占椎体总体积百分比 $7.6\% \sim 22.3\%$, 平均 $(14.9 \pm 3.5)\%$; 下半椎体 $2.4\% \sim 21.1\%$, 平均 $(12.9 \pm 5.6)\%$, 差异无统计学意义, 见表2。

表2 术后椎体正中轴面分割后上下方骨水泥体积及占比的比较

Tab.2 Comparison of bone cement volume and volume ratio between upward part and downward part segmented by axial plane after surgery

组别	骨水泥 体积/ mm^3	占骨水泥总体 积比/ $\%$	占椎体总体 积比/ $\%$
上半椎体	4 242.86 $\pm$ 1 165.79	55.22 $\pm$ 15.11	14.86 $\pm$ 3.49
下半椎体	3 574.34 $\pm$ 1 539.70	44.78 $\pm$ 15.11	12.93 $\pm$ 5.63
<i>t</i> 值	1.51	1.62	1.26
<i>p</i> 值	>0.05	>0.05	>0.05

3 讨论

骨质疏松性椎体压缩性骨折在老年骨质疏松症患者中较为常见。发病后出现的疼痛及功能障碍, 严重影响患者的生活质量^[3]。对于保守治疗效果不佳的患者, 经皮椎体成形术目前仍是被广泛接受的治疗方式^[1]。经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)相对于PVP术, 在恢复压缩椎体高度和后凸角方面具有优势^[11], 但在缓解疼痛和改善功能方面的效果大致相仿, 骨水泥

渗漏和术后再骨折的发生率无明显差异, 且手术费用显著高于PVP, 故有学者更倾向于采用PVP手术治疗骨质疏松性椎体骨折^[12]。

PVP手术可采取单侧或双侧穿刺。与双侧穿刺PVP术相比, 单侧穿刺可缩短手术时间, 较少透视次数^[2]。但是, 单侧椎弓根穿刺椎体成形术骨水泥往往难以越过中线^[3-5], 其生物力学性能可能较双侧穿刺差^[6-7]。如采用如采用椎弓根外穿刺路径加大内倾以改善骨水泥分布, 则手术难度相对单侧椎弓根穿刺大, 增加了穿刺针侵入椎管, 损伤神经的可能性^[8]。Chen等^[3]测量了单侧穿刺PVP术后伤椎不同CT扫描层面及同一层面不同区域的骨水泥分布面积, 发现单侧椎弓根穿刺PVP骨水泥主要分布在穿刺侧, 在对侧仅有少量骨水泥分布。Lieschner等^[6]通过有限元分析的方法发现, 骨水泥的不均衡分布导致单侧载荷的偏移, 从而引起压力载荷下的不稳。Liang等^[7]则在三维有限元研究中指出, 在骨水泥分布不均衡时, 松质骨及皮质骨受到的最大等效应力上升, 最大位移显著增大, 从而更易导致再骨折及术后疼痛无法缓解。也有学者报道, 如果单侧椎弓根穿刺PVP术骨水泥分布未能越过中线, 则需在对侧再行PVP^[13]。对于PCVP这种改良的新术式, 缺乏术后骨水泥分布情况的定量分析数据, 也无准确的体积数据供进一步的有限元分析或生物力学实验。本研究的结果定量描述了PCVP术后骨水泥的分布特征, 并可为生物力学建模提供可参考的临床数据。

PCVP术是近年来新改进的单侧穿刺术式, 仅行单侧椎弓根穿刺, 就能够在椎体的穿刺侧、椎体中央及对侧进行骨水泥注射, 与传统的单侧穿刺PVP术相比, 可缩短手术时间, 减小手术创伤^[5,9]。周权发等^[14]对术后CT图像中骨水泥分布面积最大的层面进行平面分区, 比较了单侧、双侧穿刺PVP及PCVP的骨水泥分布情况, 发现PCVP术后实现骨水泥理想分布的例数及比例与双侧穿刺PVP术无统计学差异, 但与单侧穿刺PVP术相比, 差异有统计学差异, 认为该术式能够优化骨水泥在椎体中的分布, 但是缺乏相关的量化研究。因此, 在本研究中我们对PCVP术后患者的骨水泥分布采用了二维面积测量及三维建模的方法量化分析, 定量观测并描述了PCVP术后骨水泥的分布特征。在本实验中, 多数患者进针侧骨水泥体积大于对侧, 这可能与骨水泥黏度等因素有关。此外, 不同的骨折类型也可能与骨水泥的分布相关。我们将在进一步的

工作中进一步细化这部分的研究,如在某一特定的骨折类型下观察骨水泥的分布情况,以及不同骨水泥黏度等因素对骨水泥分布的影响,以期提供更为可靠的临床数据。

参考文献

- [1] Clark W, Bird P, Gonski P, et al. Safety and efficacy of vertebroplasty for acute painful osteoporotic fractures (VAPOUR): a multicentre, randomised, double-blind, placebo-controlled trial[J]. Lancet, 2016, 388(10052): 1408-1416.
- [2] Sun H, Li C. Comparison of unilateral and bilateral percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2016, 11(1): 156.
- [3] Chen Q, Liu L, Liang G. Distribution characteristics of bone cement used for unilateral puncture percutaneous vertebroplasty in multiple planes[J]. Orthopade, 2018, 47(7): 585-589.
- [4] 贺宝荣, 许正伟, 郝定均, 等. 骨水泥在骨质疏松性骨折椎体内分布状态与生物力学性能的关系. 中华骨科杂志[J], 2012, 32(8): 768-773.
- [5] 林玉江, 林茜, 杨利民, 等. 弯角椎体成形术治疗胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2017, 27(5): 423-428.
- [6] Liebschner M A, Rosenberg W S, Keaveny T M. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(14): 1547-1554.
- [7] Liang D, Ye L Q, Jiang X B, et al. Biomechanical effects of cement distribution in the fractured area on osteoporotic vertebral compression fractures: a three-dimensional finite element analysis[J]. J Surg Res, 2015, 195(1): 246-256.
- [8] 杨惠林, 刘强, 唐海. 经皮椎体后凸成形术的规范化操作及相关问题的专家共识[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(11): 808-812.
- [9] 李玉伟, 崔红领, 王海蛟. 应用可弯曲骨水泥注入器单侧穿刺行经皮椎体成形术的可行性及疗效[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(4): 293-298.
- [10] 印平. 骨质疏松性椎体压缩性骨折的治疗指南[J]. 中国骨质疏松杂志, 2015, 21(6): 643-648.
- [11] 常磊, 谭祖明, 唐肇毅. 椎体后凸成形术治疗老年骨质疏松脊柱压缩骨折临床研究[J]. 外科研究与新技术, 2017, 6(1): 30-32.
- [12] Wang B, Zhao C P, Song L X, et al. Balloon kyphoplasty versus percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture: a meta-analysis and systematic review[J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1): 264.
- [13] 杜心如, 燕太强. 经皮椎体成形术的解剖与临床[J]. 解剖与临床, 2013, 18(6): 521-523.
- [14] 周权发, 刘宏建, 寇红伟, 等. 弯角椎体成形装置的早期疗效评估及对骨水泥分布的影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(10): 892-897.

(收稿日期: 2020-05-25)

本刊全面启用“远程稿件处理系统”

《外科研究与新技术》杂志(国内统一连续出版物号: CN 31-2073/R), 季刊, 由教育部主管、同济大学主办。本刊可为外科学领域医、教、研人员交流学术思想, 转化科研成果提供一个平台; 是一本主要读者对象为广大的医、教、研工作者和医学院校师生及留学生的学术类期刊。

《外科研究与新技术》编辑部已全面启用“远程稿件处理系统”, 即日起编辑部将不再接受邮件投稿方式, 所有的稿件都须通过“远程稿件处理系统”进行投稿, 请作者直接登陆网站进行注册投稿和稿件查询。投稿网址 <http://www.srant.com>, 欢迎广大医务工作者踊跃投稿。

《外科研究与新技术》编辑部
2019年12月3日